

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 0 月 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 8 8 9 1 4
Application Number:

ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 8 8 9 1 4]

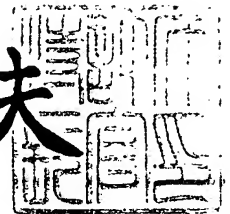
願 人 古河電気工業株式会社
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2 0 0 3 年 1 0 月 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 8 1 3 3 :

【書類名】 特許願

【整理番号】 A20308

【提出日】 平成14年10月 1日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03C 13/04
G02B 6/00
H04B 10/00

【発明の名称】 光ファイバとその製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 速水 修平

【特許出願人】

 【識別番号】 000005290

 【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100094053

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 014890

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9006009

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバとその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

石英を主成分とするガラス成分から形成されており、 $1.3\ \mu\text{m}$ ($1300\ \text{nm}$) 近傍に零分散を持ち、

波長 $1550\ \text{nm}$ における伝送損失が $0.185\ \text{dB}/\text{km}$ 以下であり、

波長 $1550\ \text{nm}$ における波長分散が $19 \pm 1\ \text{ps}/\text{nm} \cdot \text{km}$ であり、

波長 $1550\ \text{nm}$ における波長分散スロープが $0.006\ \text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ 以下であり、

実効コア断面積が $105\ \mu\text{m}^2$ 以上であり、

ケーブルカットオフ波長 λ_c が $1530\ \text{nm}$ 以下であり、

偏向モード分散が $0.1\ \text{ps}/\text{km}^{1/2}$ 以下であり、

マンドレル外径 $20\ \text{mm}$ で曲げたときの曲げ損失が $10\ \text{dB}/\text{m}$ 以下である

ことを特徴とする、光ファイバ。

【請求項 2】

当該光ファイバは、

光ファイバの中心に位置し、石英の屈折率に対する比屈折率差が 0 でない負の値 Δn_1 である第 1 比屈折率差を持ち、外径が a である第 1 領域と、

前記第 1 領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第 1 比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_2 である第 2 比屈折率差を持ち ($|\Delta n_2| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_2 < 0$)、外径が b である第 2 領域と、

前記第 2 領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第 2 比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さく、かつ前記第 1 比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_3 である第 3 比屈折率差を持ち ($|\Delta n_3| < |\Delta n_2|$, $|\Delta n_3| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_3 < 0$)、外径が c である第 3 領域と、

前記第 3 領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第 3 比屈折率差 Δn_3 の絶対値よりも大きく、かつ、前記第 2 比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さな負の値 Δn_4 である第 4 比屈折率差を持ち ($|\Delta n_4| >$

$/ \Delta n_3 /, / \Delta n_4 / < / \Delta n_2 /, \Delta n_4 < 0$)、外径が d である第 4 領域と、

前記第 4 域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差が 0 より大きな正の値 Δn_5 である第 5 比屈折率差を持ち、外径が e である第 5 領域とを有する、

請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】

前記第 1 領域の外径 a に対する前記第 2 領域の外径 b の比率 b / a および前記第 3 領域の外径 c の比率 c / a が下記であることを特徴とする、

$$1. \quad 2.0 \leq b / a \leq 2.00$$

$$1. \quad 4.4 \leq c / a \leq 4.00$$

請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】

前記比屈折率差は下記の値であることを特徴とする、

$$-0.1\% < \Delta n_1 < 0\%$$

$$-0.5\% \leq \Delta n_2 \leq -0.2\%$$

$$-0.4\% \leq \Delta n_3 \leq -0.1\%$$

請求項 2 または 3 記載の光ファイバ。

【請求項 5】

前記第 5 領域の外径 e と前記第 4 領域の外径 d との差の半値である前記第 5 領域の層の厚さが、前記第 5 領域の外径 e が $125 \mu\text{m}$ のとき $5 \sim 12 \mu\text{m}$ の範囲であることを特徴とする、

請求項 2 ～ 4 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 6】

光ファイバの中心に位置し、石英の屈折率に対する比屈折率差が 0 でない負の値 Δn_1 である第 1 比屈折率差を持ち、外径が a である第 1 領域と、

前記第 1 領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第 1 比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_2 である第 2 比屈折率差を持ち ($/ \Delta n_2 / > / \Delta n_1 /, \Delta n_2 < 0$)、外径が b である第 2 領域と、

前記第 2 領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が

前記第 2 比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さく、かつ前記第 1 比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_3 である第 3 比屈折率差を持ち ($|\Delta n_3| < |\Delta n_2|$, $|\Delta n_3| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_3 < 0$)、外径が c である第 3 領域と、

前記第 3 領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第 3 比屈折率差 Δn_3 の絶対値よりも大きく、かつ、前記第 2 比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さな負の値 Δn_4 である第 4 比屈折率差を持ち ($|\Delta n_4| > |\Delta n_3|$, $|\Delta n_4| < |\Delta n_2|$, $\Delta n_4 < 0$)、外径が d である第 4 領域と、

前記第 4 域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差が 0 より大きな正の値 Δn_5 である第 5 比屈折率差を持ち、外径が e である第 5 領域と

を有し、1300 nm (1.3 μ m) 近傍に零分散を持つ、光ファイバの製造方法であって、

前記第 1 ~ 第 4 領域おのこの領域となるべきスートを合成する際に、珪素を含むスート合成原材料にゲルマニウムおよび／またはフッ素を添加して前記スートを合成し、

該合成されたスートを透明ガラス化する際に、フッ素および／または塩素を含む雰囲気中で焼結させ、

前記第 1 ~ 4 領域におけるファイバ状態でのゲルマニウム濃度 C_{Ge} (mol%) ならびにフッ素濃度 C_F (mol%) を下記の値にしたことを特徴とする、

$$\text{第 1 領域: } -0.1 < 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F < 0$$

$$\text{第 2 領域: } -0.5 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.2$$

$$\text{第 3 領域: } -0.4 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.1$$

$$\text{第 4 領域: } -0.5 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.2$$

光ファイバの製造方法。

【請求項 7】

前記第 1 ~ 第 4 領域の全ての領域において前記スート合成原材料として珪素にフッ素を添加し、ゲルマニウムを添加しない ($C_{Ge} = 0$) ことを特徴とする、請求項 6 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 8】

前記第 1 領域となるべきスートを合成する際に、前記珪素を含むスート合成原

材料にフッ素およびゲルマニウムを添加し、

前記第 2 ～ 4 領域となるべきスートを合成する際に、前記珪素を含むスート合成原材料にフッ素を添加し、ゲルマニウムを添加しない

ことを特徴とする、請求項 6 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 9】

前記第 1 および第 3 領域となるべきスートを合成する際に前記珪素を含むスート合成原材料にフッ素とともにゲルマニウムを添加し、

前記第 2 および第 4 領域、および、第 5 領域となるべきスートを合成する際には前記珪素を含むスート合成原材料にフッ素を添加し、ゲルマニウムを添加しないことを特徴とする、請求項 6 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 10】

前記第 1 領域となるべき第 1 スートを合成し、該第 1 スートを加熱してガラス化して第 1 ガラス体を形成する第 1 工程と、

前記第 2 領域となるべき第 2 スートを前記第 1 工程で形成された前記第 1 ガラス体の外周に合成し、得られた第 1 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 1 複合ガラス体を形成する第 2 工程と、

前記第 3 領域となるべき第 3 スートを前記第 2 工程で形成された前記第 1 複合ガラス体の外周に合成し、得られた第 2 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 2 複合ガラス体を形成する第 3 工程と、

前記第 4 領域となるべき第 4 スートを前記第 3 工程で形成された前記第 2 複合ガラス体の外周に合成し、得られた第 3 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 3 複合ガラス体を形成する第 4 工程と、

前記第 5 領域となるべき第 5 スートを前記第 4 工程で形成された前記第 3 複合ガラス体の外周に合成し、得られた第 4 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 4 複合ガラス体を形成し該第 4 複合ガラス体を光ファイバ母材とする第 5 工程と、

前記光ファイバ母材の一端を加熱して線引して光ファイバを形成する第 6 工程と

を有することを特徴とする、

請求項 6～9 いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバとその製造方法に関するものであり、特に、波長多重伝送技術を用いる長距離大容量伝送システム、無中継海底光ケーブルシステムなどの光通信に使用する光ファイバおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

光通信用シングルモード光ファイバ（SMF）の光伝送信号として使用する波長は 1300 nm（1.3 μ m）近傍または 1550 nm（1.55 μ m）近傍であることが多いが、波長多重伝送用ファイバでは伝送損失が小さくなる 1550 nm（1.55 μ m）の波長が使用されている。

近年、波長多重伝送システムの発展とともに非線形光学効果の抑制、分散の抑制の重要性が高まっている。

【0003】

このような中で、長距離大容量伝送用ファイバでは、図 1 に図解したように、前段部分に有効コア断面積（ A_{eff} ）を拡大した正の波長分散ならびに正の波長分散スロープを有する光ファイバ 1 を用い、後段部分に負の波長分散ならびに負の波長分散スロープを有する光ファイバ 2 を用いて両者を組み合わせて、総合的に波長分散を小さくした線路、いわゆる、分散マネジメント型伝送路が提案されている。

【0004】

また、近海島嶼間の通信などに用いられる無中継海底光ケーブルシステムにおいても非線形光学効果抑制のため、実効（有効）コア断面積 A_{eff} を拡大した光ファイバが用いられている。

【0005】

これらの波長多重伝送用シングルモード光ファイバの製造方法として、VAD 法、OVD 法、MCVD 法、あるいはこれらを組み合わせて製造する方法などい

くつかの公知の合成方法が知られている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

上述の波長多重伝送用シングルモード光ファイバ自体およびその製造方法は、下記に述べる問題に遭遇している。

【0007】

(1) 非線形光学効果を抑制するためには、実効（有効）コア断面積 A_{eff} を大きくする必要がある。しかしながら、一般に A_{eff} を大きくすると、曲げ損失の増加、カットオフ波長の増加が起こる。そのため、曲げ損失ならびにカットオフ波長を抑えながら A_{eff} の拡大を図ることが困難であった。これは一般的に、特性のトレードオフ現象と呼ばれ、 A_{eff} と波長分散、波長分散スロープ（波長分散傾斜または波長分散勾配）の間にも見られる現象である。所望とする特性すべてを実現させるためにはコア部分の屈折率分布（形状、比屈折率差）を厳密に管理しなければならず、これまで、そのような要求を満足する光ファイバを安定して製造することが困難であった。

【0008】

(2) 石英系光ファイバの伝送損失を支配する因子の1つとしてレイリー散乱が知られている。レイリー散乱は石英ガラスに含まれる不純物、たとえば、屈折率を増減させるドーパントの種類および量によって支配されることが知られている。これまでも A_{eff} の拡大を目的とした屈折率分布の最適化は行われてきたが、コア部分への屈折率を高めるドーパント、たとえば、ゲルマニウム（Ge）の量を多くしなければならない。しかしながら、ゲルマニウムのドーパ量を多くすると、上述したように、レイリー散乱を小さくし伝送損失を低減することが困難であった。

【0009】

(3) 伝送路全体での平均伝送損失は、たとえば、図1に図解した例示において、光信号の伝送向きDに沿って前段ファイバ1ならびに後段ファイバ2の伝送損失を条長加重平均したものとして与えられる。しかしながら一般に、負の波長分散ならびに負の波長分散スロープを有する後段ファイバ2の伝送損失は高く、

その損失低減は困難である。そこで、伝送路全体の伝送損失を低減するためには前段ファイバ1の分散を抑制することにより、伝送路全体の条長を長くして、かつ、伝送損失を低減することが望まれている。

【0010】

本発明の目的は、零分散波長が1300 nm (1.3 μ m) 近傍にある低損失な光ファイバおよびその製造方法を提供することにある。

特に本発明の目的は、零分散波長が1300 nm (1.3 μ m) 近傍にあり、分散マネージメント光伝送路に適用して好適な伝送特性を有する光ファイバおよびその製造方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明の第1の観点によれば、石英を主成分とするガラスから形成されており、1.3 μ m (1300 nm) 近傍に零分散を持ち、

波長1550 nmにおける伝送損失が0.185 dB/km以下であり、

波長1550 nmにおける波長分散が 19 ± 1 ps/nm \cdot kmであり、

波長1550 nmにおける波長分散スロープが0.006 ps/nm² \cdot km以下であり、

実効コア断面積が105 μ m² 以上であり、

ケーブルカットオフ波長 λ_c が1530 nm以下であり、

偏向モード分散が0.1 ps/km^{1/2} 以下であり、

マンドレル外径20 mmで曲げたときの曲げ損失が10 dB/m以下である

ことを特徴とする、光ファイバが提供される。

【0012】

好ましくは、当該光ファイバは、

光ファイバの中心に位置し、石英の屈折率に対する比屈折率差が0でない負の値 Δn_1 である第1比屈折率差を持ち、外径がaである第1領域と、

前記第1領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第1比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_2 である第2比屈折率差を持ち($|\Delta n_2| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_2 < 0$)、外径がbである第2領域と、

前記第2領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第2比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さく、かつ前記第1比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_3 である第3比屈折率差を持ち($|\Delta n_3| < |\Delta n_2|$, $|\Delta n_3| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_3 < 0$)、外径がcである第3領域と、

前記第3領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第3比屈折率差 Δn_3 の絶対値よりも大きく、かつ、前記第2比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さな負の値 Δn_4 である第4比屈折率差を持ち($|\Delta n_4| > |\Delta n_3|$, $|\Delta n_4| < |\Delta n_2|$, $\Delta n_4 < 0$)、外径がdである第4領域と、

前記第4域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差が0より大きな正の値 Δn_5 である第5比屈折率差を持ち、外径がeである第5領域とを有しうる。

【0013】

本発明の第2の観点によれば、

光ファイバの中心に位置し、石英の屈折率に対する比屈折率差が0でない負の値 Δn_1 である第1比屈折率差を持ち、外径がaである第1領域と、

前記第1領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第1比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_2 である第2比屈折率差を持ち($|\Delta n_2| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_2 < 0$)、外径がbである第2領域と、

前記第2領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第2比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さく、かつ前記第1比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_3 である第3比屈折率差を持ち($|\Delta n_3| < |\Delta n_2|$, $|\Delta n_3| > |\Delta n_1|$, $\Delta n_3 < 0$)、外径がcである第3領域と、

前記第3領域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差の絶対値が前記第3比屈折率差 Δn_3 の絶対値よりも大きく、かつ、前記第2比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さな負の値 Δn_4 である第4比屈折率差を持ち($|\Delta n_4| > |\Delta n_3|$, $|\Delta n_4| < |\Delta n_2|$, $\Delta n_4 < 0$)、外径がdである第4領域と、

前記第4域の外周に形成され、石英の屈折率に対する比屈折率差が0より大きな正の値 Δn_5 である第5比屈折率差を持ち、外径がeである第5領域と

を有し、1300nm(1.3 μ m)近傍に零分散を持つ、光ファイバの製造

方法であって、

前記第 1 ～ 第 4 領域おのこの領域となるべきスートを合成する際に、珪素を含むスート合成原材料にゲルマニウムおよび／またはフッ素を添加して前記スートを合成し、

該合成されたスートを透明ガラス化する際に、フッ素および／または塩素を含む雰囲気中で焼結させ、

前記第 1 ～ 4 領域におけるファイバ状態でのゲルマニウム濃度 C_{Ge} (mol%) ならびにフッ素濃度 C_F (mol%) を下記の値にしたことを特徴とする、光ファイバの製造方法が提供される。

【0014】

第 1 領域: $-0.1 < 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F < 0$

第 2 領域: $-0.5 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.2$

第 3 領域: $-0.4 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.1$

第 4 領域: $-0.5 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.2$

【0015】

好ましくは、当該光ファイバの製造方法は下記の工程を有しうる。

(イ) 前記第 1 領域となるべき第 1 スートを合成し、該第 1 スートを加熱してガラス化して第 1 ガラス体を形成する第 1 工程、

(ロ) 前記第 2 領域となるべき第 2 スートを前記第 1 工程で形成された前記第 1 ガラス体の外周に合成し、得られた第 1 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 1 複合ガラス体を形成する第 2 工程、

(ハ) 前記第 3 領域となるべき第 3 スートを前記第 2 工程で形成された前記第 1 複合ガラス体の外周に合成し、得られた第 2 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 2 複合ガラス体を形成する第 3 工程、

(ニ) 前記第 4 領域となるべき第 4 スートを前記第 3 工程で形成された前記第 2 複合ガラス体の外周に合成し、得られた第 3 ガラス・スート複合体を加熱してガラス化して第 3 複合ガラス体を形成する第 4 工程、

(ホ) 前記第 5 領域となるべき第 5 スートを前記第 4 工程で形成された前記第 3 複合ガラス体の外周に合成し、得られた第 4 ガラス・スート複合体を加熱して

ガラス化して第4複合ガラス体を形成し該第4複合ガラス体を光ファイバ母材とする第5工程、

(へ) 前記光ファイバ母材の一端を加熱して線引して光ファイバを形成する第6工程。

【0016】

【発明の実施の形態】

本発明の光ファイバおよびその製造方法の好適実施の形態を添付図面を参照して述べる。

第1実施の形態

本発明の光ファイバの1実施の形態として、図1に図解した分散マネジメント光伝送路の前段の光ファイバ1、すなわち、波長多重伝送用シングルモード光ファイバ1に適用する光ファイバについて例示する。

図1に図解した分散マネジメント光伝送路は、前段部分に有効コア断面積 (A_{eff}) を拡大した正の波長分散ならびに正の波長分散スロープを有する波長多重伝送用シングルモード光ファイバ1を用い、後段部分に負の波長分散ならびに負の波長分散スロープを有する光ファイバ2を用いて両者を組み合わせて、総合的に波長分散を小さくすることを意図している。

【0017】

光ファイバの構成および特性

図2は本発明の光ファイバの第1実施の形態としての有効コア断面積 (A_{eff}) を拡大した正の波長分散ならびに正の波長分散スロープを有する、 $1.3\mu\text{m}$ (1300nm) 近傍に零分散を持つ、波長多重伝送用シングルモード光ファイバ (SMF) 1の構成および屈折率プロファイルを図解した図である。

図2に図解した光ファイバは、当該光ファイバの光軸中心に位置する第1領域 (A) (または第1コア部または第1光信号伝播領域) 101と、第1領域 (A) 101の外周に形成された第2領域 (B) (または第2コア部または第2光信号伝播領域) 102と、第2領域 (B) 102の外周に形成された第3領域 (C) (または第3コア領域または第3光信号伝播領域) 103と、第3領域 (C) 103の外周に形成された第4領域 (D) (または第4コア部または第4光信号

伝播領域) 104 と、第4領域 (D) 104 の外周に形成された第5領域 (E) (またはクラッド部または最外層領域) 105 とを有する。

最終製品としての光ファイバには、最外層領域 105 の外周に保護用樹脂が被覆されるが、図解を省略している。

【0018】

第1領域 (A) 101 は、直径が a 、屈折率 n_1 である。第2領域 (B) 102 は、外径が b 、屈折率 n_2 である。第3領域 (C) 103 は、外径が c 、屈折率 n_3 である。第4領域 (D) 104 は、外径が d 、屈折率 n_4 である。第5領域 (E) 105 は、外径が e 、屈折率 n_5 である。

屈折率を増減させるドーパントがドーピングされていない、シリカ (珪素) ベースの石英ガラスの屈折率を基準の屈折率 n_0 とする。

基準屈折率 n_0 に対する各屈折率 $n_1 \sim n_5$ との比屈折率差 (第1～第5比屈折率差) $\Delta 1 \sim \Delta 5$ は下記式 1 で規定される。

【0019】

【数 1】

$$\Delta n_1 = \frac{n_1^2 - n_0^2}{2n_1^2} \simeq \frac{n_1 - n_0}{n_1}$$

$$\Delta n_2 = \frac{n_2^2 - n_0^2}{2n_2^2} \simeq \frac{n_2 - n_0}{n_2}$$

$$\Delta n_3 = \frac{n_3^2 - n_0^2}{2n_3^2} \simeq \frac{n_3 - n_0}{n_3}$$

$$\Delta n_4 = \frac{n_4^2 - n_0^2}{2n_4^2} \simeq \frac{n_4 - n_0}{n_4}$$

$$\Delta n_5 = \frac{n_5^2 - n_0^2}{2n_5^2} \simeq \frac{n_5 - n_0}{n_5}$$

【0 0 2 0】

本発明の第 1 実施の形態の光ファイバは、下記の光信号伝播層として 3 層構造の構成要素を持つ。

(1) 光ファイバの中心に位置し、石英の屈折率に対する比屈折率差が 0 でない負の値 Δn_1 である第 1 比屈折率差 Δn_1 を持ち、外径が a である第 1 領域 (A) (または第 1 コア部または第 1 光信号伝播領域) 1 0 1。

(2) 第 1 領域 (A) 1 0 1 の外周に形成され、石英の屈折率 n_0 に対する比屈折率差の絶対値が第 1 比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_2 である第 2 比屈折率差を持ち、外径が b である第 2 領域 (B) (または第 2 コア部または第 2 光信号伝播領域) 1 0 2。

(3) 第2領域(B) 102の外周に形成され、石英の屈折率 n_0 に対する比屈折率差の絶対値が第2比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さく、かつ第1比屈折率差 Δn_1 の絶対値よりも大きな負の値 Δn_3 である第3比屈折率差を持ち、外径が c である第3領域(C) (または第3コア部または第3光信号伝播領域) 103。

(4) 第3領域(C) 103の外周に形成され、石英の屈折率 n_0 に対する比屈折率差の絶対値が第3比屈折率差 Δn_3 の絶対値よりも大きく、かつ、第2比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さな負の値 Δn_4 である第4比屈折率差を持ち、外径が d である第4領域(D) (または第4コア部または第4光信号伝播領域) 104。

(5) 第4領域(D) 104の外周に形成され、石英に対する比屈折率差が0より大きな正の値 Δn_5 である第5比屈折率差を持ち、外径が e である第5領域(E) (または最外層領域またはクラッド部) 105。

【0021】

屈折率の大小関係、および、比屈折率差の関係は下記になる。

【0022】

$$n_5 > n_0 > n_1 > n_3 > n_4 > n_2$$

【0023】

$$\Delta n_1 < 0$$

$$/ \Delta n_2 / > / \Delta n_1 /, \quad \Delta n_2 < 0$$

$$/ \Delta n_3 / < / \Delta n_2 /, \quad / \Delta n_3 / > / \Delta n_1 /, \quad \Delta n_3 < 0$$

$$/ \Delta n_4 / > / \Delta n_3 /, \quad / \Delta n_4 / < / \Delta n_2 /, \quad \Delta n_4 < 0$$

$$\Delta n_5 > 0$$

【0024】

伝送特性

本願発明者の考察に基づく、第1実施の形態の $1.3 \mu\text{m}$ (1300 nm) 近傍に零分散を持つ、光ファイバに要求される特性条件を表1に示す。

【0025】

【表1】

- (1) 伝送損失: 波長 1550 nm において 0.185 dB/km 以下
- (2) 波長分散: 波長 1550 nm において $19 \pm 1 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$
- (3) 波長分散スロープ: 波長 1550 nm において $0.06 \pm 0.01 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ の範囲
- (4) 実効コア断面積 A_{eff} : 波長 1550 nm において $105 \mu\text{m}^2$ 以上
- (5) ケーブルカットオフ波長 λ_c : 1530 nm 以下
- (6) マンドレル外径 20 mm における曲げ損失: 10 dB/m 以下

【0026】

表 1 に示した特性条件の根拠について述べる。

(a) 本願発明者が、波長多重伝送路を構成する光ファイバについて鋭意実験し、検討した結果、零分散波長が 1300 nm ($1.3 \mu\text{m}$) 近傍にあるシングルモード光ファイバとして好適な光ファイバとして、ケーブルカットオフ波長を 1530 nm 以下、かつ、マンドレル外径 20 mm ($20 \text{ mm } \phi$) での曲げ損失を 10 dB/m 以下に抑えつつ、実効 (有効) コア断面積 A_{eff} を $105 \mu\text{m}^2$ 以上とすることで非線形光学効果を抑制した大容量伝送が可能となることが分かった。

(b) さらに、波長 1550 nm における分散を $19 \pm 1 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 、かつ、波長 1550 nm における伝送損失を 0.185 dB/km 以下とすることで図 1 に例示した伝送路全体での平均伝送損失を低減することができることが分かった。

【0027】

外径比率

第 2 の特性条件として、第 1 領域 (A) 101 の外径 a に対する第 2 領域 (B) 102 の外径 b の比率 b/a および第 1 領域 (A) 101 の外径 a に対する第 3 領域 (C) 103 の外径 c の比率 c/a を下記にすることが好ましい。

【0028】

【表 2】

$$1.20 \leq b/a \leq 2.00, \text{ かつ, } 1.44 \leq c/a \leq 4.00$$

... (1)

【0029】

外径比率の条件について述べる。外径比率 b/a および c/a をそれぞれ、2.00 以下、および、1.44 以上とすることにより、曲げ損失を増加させることなく、実効コア断面積 A_{eff} を大きくすることができる。

さらに、外径比率 b/a を 1.20 以上、かつ、外径比率 c/a を 4.00 以下とすることにより、ケーブルカットオフ波長を 1530 nm (1.53 μ m) μ m よりも短くすることができた。

このように、上記の不等式 (1) を満足するように第 1 領域 (A) 101 の外径 a 、第 2 領域 (B) 102 の内径 b および第 3 領域 (C) 103 の外径 c を設定することにより、伝送容量の大きいシングルモード光ファイバを実現することができた。

【0030】

比屈折率差

第 3 の特性条件として、石英の屈折率に対する第 1～第 4 領域 101～104 の屈折率の第 1～第 4 比屈折率差 $\Delta n_1 \sim \Delta n_4$ について述べる。

【0031】

【表 3】

$$\begin{aligned} & -0.1\% < \Delta n_1 < 0\% \\ & -0.5\% \leq \Delta n_2 \leq -0.2\% \\ & -0.4\% \leq \Delta n_3 \leq -0.1\% \end{aligned}$$

$$/\Delta n_4/ > /\Delta n_3/, \quad /\Delta n_4/ < /\Delta n_2/, \quad \Delta n_4 < 0$$

【0032】

比屈折率差の条件について述べる。

第 1 比屈折率差 Δn_1 を -0.1% よりも大きな 0 でない負の値、第 2 比屈折率差 Δn_2 を -0.5% 以上、第 3 比屈折率差 Δn_3 を -0.4% 以上にし、第 4 比屈折率差 Δn_4 の絶対値を第 3 比屈折率差 Δn_3 の絶対値よりも大きく、かつ、第 2 比屈折率差 Δn_2 の絶対値よりも小さな負の値にすると、光ファイバにおける伝送損失の増加を防止しつつ、実効コア断面積 A_{eff} の拡大を図ることができた。

なお、第2比屈折率差 Δn_2 を -0.2% 以下、かつ、第3比屈折率差 Δn_3 を -0.1% 以下にしたのは、 Δn_2 を -0.2% よりも大きくする、あるいは、 Δn_3 を -0.1% よりも大きくするとカットオフ波長が 1550 nm ($1.55\text{ }\mu\text{m}$) よりも長くなるからである。

【0033】

光ファイバの最外層としてクラッド部（または第5領域（E））105を設けることにより、後述する線引時にコア部が受ける張力を分散させることができる。このため、線引時の張力制御を容易に行うことができる。

シングルモード光ファイバのクラッド部105の外径 e は通常、 $125\text{ }\mu\text{m}$ である。外径 d の第4領域（D）104の外周に形成される、クラッド部105の厚さは、クラッド部105の内部に形成される光伝播層の数にも依存する。たとえば、図2に図解した光ファイバにおけるクラッド部105の厚さは厚く、図4および図5に図解するクラッド部105の厚さは薄くなる。

【0034】

1例として、第1～第4領域（コア部）101～104およびクラッド部（第5領域）105の外径 $a\sim e$ 、および、第1～第5比屈折率差 $\Delta 1\sim\Delta 5$ の例を表4に示す。

【0035】

【表4】

部分	外径	比屈折率差
(1) 第1領域 (A) 101	$a = 8\text{ }\mu\text{m}$	$\Delta 1 = -0.02$
(2) 第2領域 (B) 102	$b = 10.4\text{ }\mu\text{m}$	$\Delta 2 = -0.41$
(3) 第3領域 (C) 103	$c = 18.7\text{ }\mu\text{m}$	$\Delta 3 = -0.25$
(4) 第4領域 (D) 104	$d = 111\text{ }\mu\text{m}$	$\Delta 4 = -0.30$
(5) 第5領域 (E) 105	$e = 125\text{ }\mu\text{m}$	$\Delta 5 = +0.03$

【0036】

表4に例示した外径比率 b/a および c/a は、 $b/a = 1.3$ 、 $c/a = 2.3375$ である。

またクラッド部105の厚さは、 $(125 - 111)/2 = 7\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0037】

光ファイバの製造条件

表1に例示した比屈折率差 $\Delta n_1 \sim \Delta n_4$ の第1領域(A) 101～第4領域(D) 104を有する光ファイバを形成するため、石英(珪素)を含むスト合成原材料に、屈折率を変化させるドーパント、たとえば、ゲルマニウム、および／または、屈折率を低下させるドーパント、たとえば、フッ素を適宜調整して、シリカベースの材料にドーピングする(添加する)。

ゲルマニウムは屈折率を増加させるが、上述したように、石英ガラス中に過度にゲルマニウムをドーピングするとレイリー散乱の問題を起こすので適量ドーピングすることが望ましい。

また石英ガラス中にフッ素をドーピングすることにより石英に対する比屈折率差を微調整することができ、所望する伝送特性を実現させる屈折率分布形状を得ることができる。

上述した技術的背景の基に実験した結果、ドーパントの濃度は下記の範囲が望ましい。 C_{Ge} (mol%) はゲルマニウム濃度を示し、 C_F (mol%) はフッ素濃度を示す。

【0038】

【表5】

第1領域(A) 101: $-0.1 < 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F < 0$

第2領域(B) 102: $-0.5 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.2$

第3領域(C) 103: $-0.4 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.1$

第4領域(D) 104: $-0.5 \leq 0.096 \times C_{Ge} - 0.398 \times C_F \leq -0.2$

【0039】

係数0.096は1mol%のゲルマニウムをドーピングすることにより、比屈折率差が0.096増加し、係数-0.398は1mol%のフッ素をドーピングすることにより、比屈折率差が0.398減少することを意味している。たとえば、このように、ゲルマニウムおよび／またはフッ素を適宜、ドーピングして、その結果、第1領域(A) 101の比屈折率差 Δn_1 を-0.1～0未満の範囲にすることを意味している。

【0040】

上記合成したスートを透明ガラス化する際に少なくともフッ素または塩素を含む雰囲気中で焼結させることが望ましい。特に、第1領域(A)～第4領域(D) 101～104となるべき部分のスートをガラス化する際に塩素を用いることによりスート中に含まれる水分を除去することができ、光ファイバに紡糸された後に問題となる水酸基(OH基)による吸収損失を低減させることができるからである。

【0041】

第1領域(A) 101～第4領域(D) 104の全ての領域において珪素を含むスート合成原材料にゲルマニウムをドープ(添加)させないこともできる($C_{Ge}=0$)。光ファイバの全ての領域において比屈折率差を調整するためのゲルマニウムを含まない石英ガラスとすることは不純物の混入が低減されることを意味する。こうすることによってレイリー散乱を小さくすることができ伝送損失を低減することが可能となる。

【0042】

あるいは、第1領域(A) 101となるべきスートを合成する際にゲルマニウムをスート合成原材料に添加し、第2領域(B) 102～第5領域(E) 105となるべきスートを合成する際にはスート合成原材料にゲルマニウムを添加しないようにすることもできる。

【0043】

また、屈折率が高い第1領域(A) 101および第3領域(C) 103となるべきスートを合成する際に珪素を含むスート合成原材料にゲルマニウムを添加し、屈折率が低い第2領域(B) 102および第4領域(D) 104、および、クラッド部(最外層領域) 105となるべきスートを合成する際には珪素を含むスート合成原材料にゲルマニウムを添加しないようにすることもできる。

【0044】

本発明の光ファイバの製造方法は、上述したいずれかのドーパント濃度の制御により、光ファイバ径方向の屈折率分布形状の制御性を向上させることができる。

【0045】

図3 (a) ~ (o) を参照して、上記波長多重伝送用シングルモード光ファイバの製造方法の1例を述べる。

【0046】

第1領域(A) 101となる部分(領域)の形成

工程1：図3 (a) に図解のように、たとえば、VAD法により、バーナー11と出発石英棒12を用いて、後の工程により、ガラス化後に第1領域(A) 101となるべきスート(媒体) 13を合成する。

工程2：図3 (b) に図解のように、合成されたスート13を、たとえば、 SiF_4 を含有する雰囲気中で加熱して透明化したガラス体14とする。次いで、ガラス体14をバーナー15で加熱、延伸して、図3 (c) に図解したガラス体16に形成する。このガラス体16が、最終的に第1領域(A) 101となる。

上記例では、石英の屈折率 n_0 より低い屈折率 n_1 を持つ第1領域(A) 101となる部分を形成するため、ドーパントとしてフッ素のみを用いた例を示すが、たとえば、表5に例示したように、ゲルマニウムとフッ素とをドーパントとして組み合わせることもできる。

【0047】

第2領域(B) 102となる部分(領域)の形成

工程3：図3 (d) に図解のように、OVD法で、ガラス体16の外周にバーナー17を用いて、後に行なうガラス化処理後に第2領域(B) 102となるべきスート18を合成して、ガラス・スート複合体19を形成する。

工程4：図3 (e) に図解のように、ガラス・スート複合体19を、たとえば、 SiF_4 を含有する雰囲気中で加熱して透明化した複合ガラス体20とする。次いで、この複合ガラス体20をバーナー15で加熱、延伸して、図3 (f) に図解した複合ガラス体21を形成する。

上記例では、石英の屈折率 n_0 より低い屈折率 n_2 を持つ第2領域(B) 102となる部分を形成するため、ドーパントとしてフッ素のみを用いた例を示すが、たとえば、表5に例示したように、ゲルマニウムとフッ素とをドーパントとして組み合わせることもできる。

【0048】

第3領域(C) 103となる部分(領域)の形成

工程5：図3 (g) に図解のように、OVD法で、複合ガラス体21の外周にバーナー17を用いて、後に行なうガラス化処理後に第3領域(C) 103となるべきスート22を合成して、ガラス・スート複合体23を形成する。

工程6：図3 (h) に図解のように、ガラス・スート複合体23を、たとえば、 SiF_4 を含有する雰囲気中で加熱して、透明化した複合ガラス体24とし、この複合ガラス体24をバーナー15で加熱、延伸して、図3 (i) に図解した複合ガラス体25を形成する。

上記例では、石英の屈折率 n_0 より低い屈折率 n_3 を持つ第3領域(C) 103となる部分を形成するため、ドーパントとしてフッ素のみを用いた例を示すが、たとえば、表5に例示したように、ゲルマニウムとフッ素とをドーパントとして組み合わせることもできる。

【0049】

第4領域(D) 104となる部分(領域)の形成

工程7：図3 (j) に図解のように、OVD法で、複合ガラス体25の外周にバーナー17を用いて、後に行なうガラス化処理後に第4領域(D) 104となるべきスート26を合成して、ガラス・スート複合体27を形成する。

工程8：図3 (k) に図解のように、ガラス・スート複合体27を、たとえば、 SiF_4 を含有する雰囲気中で加熱して、透明化した複合ガラス体28とし、この複合ガラス体28をバーナー15で加熱、延伸して、図3 (l) に図解した複合ガラス体29を形成する。

上記例では、石英の屈折率 n_0 より低い屈折率 n_4 を持つ第4領域(D) 104となる部分を形成するため、ドーパントとしてフッ素のみを用いた例を示すが、たとえば、表5に例示したように、ゲルマニウムとフッ素とをドーパントとして組み合わせることもできる。

【0050】

第5領域(E) 105となる部分(領域)の形成

工程9：図3 (m) に図解のように、OVD法で、複合ガラス体29の外周に

バーナー 17 を用いて、後に行なうガラス化処理後に最外層の第 5 領域 (E) (クラッド部) 105 となるべきスート 30 を合成して、ガラス・スート複合体 31 を形成する。

工程 10：図 3 (n) に図解のように、ガラス・スート複合体 31 を加熱して、透明化し、光ファイバ母材 (プリフォーム) 32 を形成する。

最外層領域 105 の形成には基本的には、ドーパントを添加しない。

【0051】

光ファイバの形成

工程 11：図 3 (o) に図解のように、光ファイバ母材 32 を線引炉に導入し、線引炉に導入した光ファイバ母材 32 の下端部をヒーター 33 を用いて加熱、溶融し、線引炉の外部に引き出して、図 2 に図解した構成を持つシングルモード光ファイバを形成する。

【0052】

上述した製造方法においては、スート合成とそのガラス化処理を含めて 1 工程とすると、合計 5 工程で、上記複数層のコア部を持つシングルモード光ファイバ母材を製造することができる。

【0053】

【実施例】

以下、上述した本発明の第 1 実施の形態に基づく実施例について述べる。

実施例 1

実施例 1 として、光ファイバの各部分 101～104 のゲルマニウム濃度 C_{Ge} (mol %) およびフッ素濃度 C_F (mol %) を種々変化させて、上述した製造方法で 3 種類の試料 1～3 を作製した。

この場合、ドーパントを含まない石英ガラスの基準屈折率 n_0 に対する光ファイバの各領域 101～105 の比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 5$ 、ならびに、第 1 領域 (A) 101 の外径 a に対する第 2 領域 (B) 102 の外径との比率 b/a 、および、第 1 領域 (A) 101 の外径 a に対する第 3 領域 (C) 103 の外径比率 c/a は上述した表 4 のごとく固定した。すなわち、 $\Delta 1 = -0.02$ 、 $\Delta 2 = -0.41$ 、 $\Delta 3 = -0.25$ 、 $\Delta 4 = -0.30$ 、 $\Delta 5 = +0.03$ であり、 b/a

$a = 1.30$ 、 $c/a = 2.3375$ である。

【0054】

試料1～3について、波長1550 nmにおける伝送損失、波長1550 nmにおける波長分散、波長1550 nmにおける波長分散スロープ、波長1550 nmにおける実効コア断面積 A_{eff} 、ケーブルカットオフ波長 λ_c 、マンドレル外径20 mm（20 mm ϕ ）における曲げ損失などの伝送特性を測定した。測定結果を表6に示す。表6には対比のために上述した所望の特性条件を付記している。

【0055】

【表 6】

	目標値	試料1 (比較例)	試料2 (本例1)	試料3 (本例2)	
Ge	領域 101, C _{Ge-101} (mol%)	0.03	0.00	0.03	Δn_1
	102, C _{Ge-102}	0.39	0.00	0.00	
	103, C _{Ge-103}	0.15	0.00	0.00	
	104, C _{Ge-104}	0.00	0.00	0.00	
F	領域 101, C _{F-101} (mol%)	0.06	1.03	0.06	
	102, C _{F-102}	1.12	0.63	1.03	
	103, C _{F-103}	0.66	0.75	0.63	
	104, C _{F-104}	0.75	0.75	0.75	
伝送損失: dB/km		0.191 *	0.178	0.169	$\lambda = 1550\text{nm}$
波長分散: ps/nm·km		18.8	19.0	19.4	$\lambda = 1550\text{nm}$
波長分散スロープ: ps/nm ² ·km		0.0598	0.0592	0.0595	$\lambda = 1550\text{nm}$
A _{eff} : μm^2		102 *	109	107	$\lambda = 1550\text{nm}$
λ_c : nm		1365	1349	1310	
曲げ損失: dB/m		7.7	5.6	3.1	20mm ϕ

【0056】

評価

試料 1 は比較例であり、試料 2 ならびに試料 3 は本発明の実施例の光ファイバに相当する。表 6 において、* を付したデータが所望の伝送特性を満足していな

いことを示している。

試料 1 (比較例) は、第 1 領域 (A) 101 ~ 第 3 領域 (C) 103 にゲルマニウムを添加した例であり、波長分散、波長分散スロープ、実効コア断面積 A_{eff} 、ケーブルカットオフ波長 λ_c 、曲げ損失は所望する条件を満足するが、伝送損失および A_{eff} が所望の特性を満足していない。比較例において伝送損失が所望する値よりも大きい理由は、光伝送領域中に多くのゲルマニウムが存在することおよびこれに対して石英に対する比屈折率差を低める調整する目的で添加されるフッ素とが不純物として作用することによりレイリー散乱増加による伝送損失の増大が起きているためである。したがって、ゲルマニウムとフッ素の添加量は適切な範囲があることが理解される。

【0057】

試料 2 ならびに試料 3 は、所望する伝送特性をすべて満足している。伝送損失の点で試料 3 の方が試料 2 より好ましい結果が得られている。その理由は、試料 3 について、第 1 領域 (A) 101 へのゲルマニウムの微量添加 (0.03 mol %) によって第 1 領域 (A) 101 と第 2 領域 (B) 102 の界面近傍でのガラス粘度の整合が促進されて、図 3 (o) に図解した線引時に生じる応力歪の残留が減少し、レイリー散乱による損失が抑制されたことによるものである。したがって、第 1 領域 (A) 101 には適量のゲルマニウムを添加することが望ましい。

【0058】

このように、伝送損失以外の伝送特性については石英に対する比屈折率差、ならびに第 1 領域 (A) 101、第 2 領域 (B) 102 および第 3 領域 (C) 103 の外径の比率を最適化することにより所望とする特性を得ることが可能であるが、伝送損失低減のためには、たとえば、第 1 領域 (A) 101 についてシリカ (石英) ガラス中のゲルマニウムおよび／またはフッ素のドーパント量をコントロールする必要があることが判明した。

【0059】

実施例 2

実施例 2 として、第 2 領域 (B) 102 ~ 第 4 領域 (D) 104 の比屈折率差

$\Delta 2 \sim \Delta 4$ 、ならびに、第1領域(A) 101の外径 a に対する第2領域(B) 102の外径比率 b/a 、および、第1領域(A) 101の外径 a に対する第3領域(C) 103の外径比率 c/a を変化させて3種類の試料A～Cを作製した。

その後、試料A～Cについて、実施例1と同様に、波長1550 nmにおける伝送損失、波長1550 nmにおける波長分散、波長1550 nmにおける波長分散スロープ、波長1550 nmにおける実効コア断面積 A_{eff} 、ケーブルカットオフ波長 λ_c 、マンドレル外径20 mm (20 mm ϕ) における曲げ損失などの伝送特性を測定した。測定結果を表7に示す。表7には対比のために上述した所望の特性条件を付記している。

【0060】

【表 7】

項 目	目 標 値	試料A (比較例1)	試料B (比較例2)	試料C (本例)	備 考
比屈率差 (%)	$\Delta n1$	-0.02	-0.02	-0.02	
	$\Delta n2$	-0.55	-0.19	-0.41	
	$\Delta n3$	-0.45	-0.08	-0.25	
	$\Delta n4$	-0.40	-0.15	-0.30	
径比率	b/a	1.40	1.10	1.30	
	c/a	2.38	2.31	2.34	
伝送損失 : dB/km	0.185以下	0.188 *	0.175	0.172	$\lambda = 1550\text{nm}$
波長分散 : ps/nm・km	19 ± 1	19.4	20.6 *	19.8	$\lambda = 1550\text{nm}$
波長分散スロープ : ps/nm ² ・km	0.06 ± 0.01	0.0595	0.0603	0.0587	$\lambda = 1550\text{nm}$
$A_{\text{eff}} : \mu\text{m}^2$	105以上	101 *	119	114	$\lambda = 1550\text{nm}$
$\lambda_c : \text{nm}$	1530以下	1310	1750 *	1525	
曲げ損失 : dB/m	10以下	3.1	27.3 *	8.5	20mm ϕ

【0061】

試料A、Bは比較例1、2であり、試料Cが本発明の実施例に相当する。表7において、*を付したデータが所望の伝送特性を満足していないことを示している。試料Cは、所望する伝送特性をすべて満足している。

比較例 1 である試料 A は、比屈折率差 $\Delta 2 \sim \Delta 4$ の絶対値が大きく、波長分散、波長分散スロープ、ケーブルカットオフ波長、曲げ損失は所望する条件を満足するが、伝送損失が所望する値よりも大きくなるとともに、 A_{eff} が所望する値よりも小さい。

比較例 2 である試料 A は、比屈折率差 $\Delta 2 \sim \Delta 4$ の絶対値が小さく、外径比率 b/a も小さい。その結果として、伝送損失、波長分散スロープ、 A_{eff} は所望する条件を満足するが、波長分散、カットオフ波長および曲げ損失は所望する条件を満足していない。

【0062】

以上から、比屈折率差 $\Delta 2 \sim \Delta 4$ の絶対値が適切な範囲にあり、少なくとも外径比率 b/a が適切な範囲にあることが所望の特性を満足させるために必要であることが分かる。

【0063】

他の実施の形態

第 1 実施の形態およびそれに基づく実施例 1 および 2 の比屈折率差 $\Delta 1$ は、コア領域（光伝送領域）が 3 層構造を有するものについて述べたが、本発明の光ファイバはより複雑な断面形状および屈折率分布形状を用いることを妨げるものではない。以下、上述した諸特性を満足させる、本発明の光ファイバの他の例示的な実施の形態の構成を述べる。

【0064】

第 2 実施の形態

図 4 を参照して本発明の第 2 実施の形態の光ファイバについて述べる。

図 4 に図解した本発明の第 2 実施の形態の光ファイバは、図 2 に図解した第 1 実施の形態の光ファイバに対して、第 3 領域 (C) 103 と第 4 領域 (D) 104a との間に、外径 f で、第 6 屈折率 n_6 を持ち、石英の基準屈折率 n_0 に対する第 6 比屈折率差 $\Delta 6$ を持つ、第 1 付加領域（または第 6 光信号伝播領域または第 6 領域 (F)）106 が付加されている 4 層構造の光ファイバである。第 6 比屈折率差 $\Delta 6$ の定義は数式 1 に準じる。

【0065】

第1領域(A) 101～第3領域(C) 103は第1実施の形態の光ファイバの第1領域(A) 101～第3領域(C) 103と同じである。

最外層領域105の外径は第1実施の形態と同じであり、第1領域(A) 101～第3領域(C) 103の外径も第1実施の形態と同じと想定した場合、第1付加コア領域106の付加により、第4領域(D) 104aの厚さ $=d-f$ は、第1実施の形態の第4領域(D) 104の厚さ $=d-c$ より薄くなる。

第4領域(D) 104aの比屈折率差 Δn_4 は、その比屈折率差の絶対値が第6比屈折率差 Δn_6 よりも小さく、かつ、第3比屈折率差 n_3 よりも大きな負の値である。第6比屈折率差 Δn_6 は、その比屈折率差の絶対値が第2比屈折率差 Δn_2 よりも小さく、かつ、第3比屈折率差 Δn_3 よりも大きな負の値である。したがって、比屈折率差について下記の関係が成立する。

【0066】

$$n_5 > n_0 > n_1 > n_3 > n_4 > n_6 > n_2$$

【0067】

図4に図解した光ファイバの製造は、図3を参照して述べた、第3領域(C) 103の形成の後、第1付加領域(または第6コア領域または第6光信号伝播領域) 106の形成工程が付加される。第1付加領域(F) 106の形成方法は、第2領域(B) 102の形成方法と同様である。ただし、ゲルマニウム濃度およびフッ素濃度が異なる。

【0068】

第2実施の形態の光ファイバについても上述した所望の特性が課せられ、第2実施の形態の光ファイバもそのような特性を満足する。

【0069】

第3実施の形態

図5を参照して本発明の第3実施の形態の光ファイバについて述べる。

図5に図解した本発明の第3実施の形態の光ファイバは、図4に図解した第2実施の形態の光ファイバに対して、第1付加領域(F) 106と第4領域(D) 104bとの間に、外径 g で、第7屈折率 n_7 を持ち、石英の基準屈折率 n_0 に対する第7比屈折率差 Δn_7 を持つ、第2付加領域(または第7光信号伝播領域ま

たは第7領域(G)) 107が付加されている5層構造の光ファイバである。第7比屈折率差 Δn_7 の定義は数式1に準じる。

【0070】

第1領域(A) 101～第3領域(C) 103は第1および第2実施の形態の光ファイバの第1領域(A) 101～第3領域(C) 103と同じである。

最外層領域105の外径は第1および第2実施の形態と同じであり、第1領域(A) 101～第3領域(C) 103の外径も第1および第2実施の形態と同じと想定した場合、第2付加コア領域107の付加により、第4領域(D) 104bの厚さ $=d-g$ は、第2実施の形態の第4領域(D) 104aの厚さ $=d-f$ より薄くなる。

第4領域(D) 104bの比屈折率差 Δn_4 は、その比屈折率差の絶対値が第6比屈折率差 Δn_6 よりも小さく、かつ、第3比屈折率差 n_3 よりも大きな負の値である。第6比屈折率差 Δn_6 は、その比屈折率差の絶対値が第2比屈折率差 Δn_2 よりも小さく、かつ、第3比屈折率差 Δn_3 よりも大きな負の値である。第7比屈折率差 Δn_7 は、その比屈折率差の絶対値が第3比屈折率差 Δn_3 よりも小さく、かつ、第6比屈折率差 Δn_6 よりも大きな負の値である。したがって、比屈折率差について下記の関係が成立する。

【0071】

$$n_5 > n_0 > n_1 > n_3 > n_7 > n_4 > n_6 > n_2$$

【0072】

図5に図解した光ファイバの製造は、図3を参照して述べた、第3領域(C) 103の形成の後、第1付加領域(または第6コア領域または第6光信号伝播領域) 106の形成工程が付加され、さらに第2付加領域(または第7コア領域または第7光信号伝播領域) 107の形成工程が付加される。

第1付加領域(F) 106および第2付加領域(G) 107の形成方法は、第2領域(B) 102の形成方法と同様である。ただし、ゲルマニウム濃度およびフッ素濃度がそれぞれ異なる。

【0073】

第3実施の形態の光ファイバについても上述した所望の特性が課せられ、第3

実施の形態の光ファイバもそのような特性を満足する。

【0074】

【発明の効果】

本発明によれば、零分散波長が1300nm（1.3μm）近傍にある、優れた伝送特性を有する光ファイバを得ることができる。このような光ファイバは波長多重伝送用シングルモード光ファイバとして好適に適用できる。

【0075】

また本発明によれば、上記光ファイバを安定して製造できる。

さらに本発明によれば、線引時の張力制御が容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は本発明の光ファイバの適用例としての分散マネジメント光伝送路の構成である。

【図2】

図2は本発明の第1実施の形態としての光ファイバの構造および屈折率分布を示す図である。

【図3】

図3（a）～（o）は、図2に図解した光ファイバの製造方法の1例を示す図である。

【図4】

図4は本発明の第2実施の形態としての光ファイバの構造および屈折率分布を示す図である。

【図5】

図5は本発明の第3実施の形態としての光ファイバの構造および屈折率分布を示す図である。

【符号の説明】

1、2・・・光ファイバ

101～104・・・第1～第4領域（コア部または光信号伝播領域）

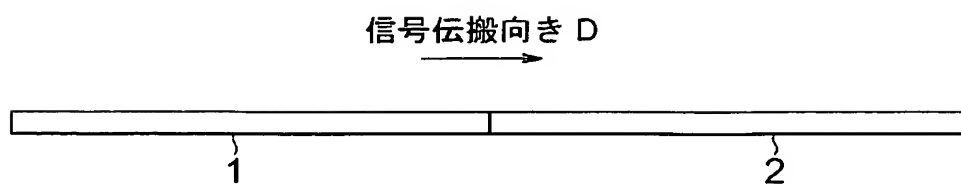
105・・・第5領域（最外層領域、クラッド部）

1 0 6、1 0 7・・・第 1、第 2 付加領域
 1 1、1 5、1 7・・・バーナー、1 2・・・出発石英棒
 1 3、1 8、2 2、2 6、3 0・・・スート、1 4、1 6・・・ガラス体
 2 0、2 1、2 4、2 5、2 8、2 9・・・複合ガラス体
 1 9、2 3、2 7、3 1・・・ガラス・スート複合体
 3 2・・・光ファイバ母材、3 3・・・ヒーター

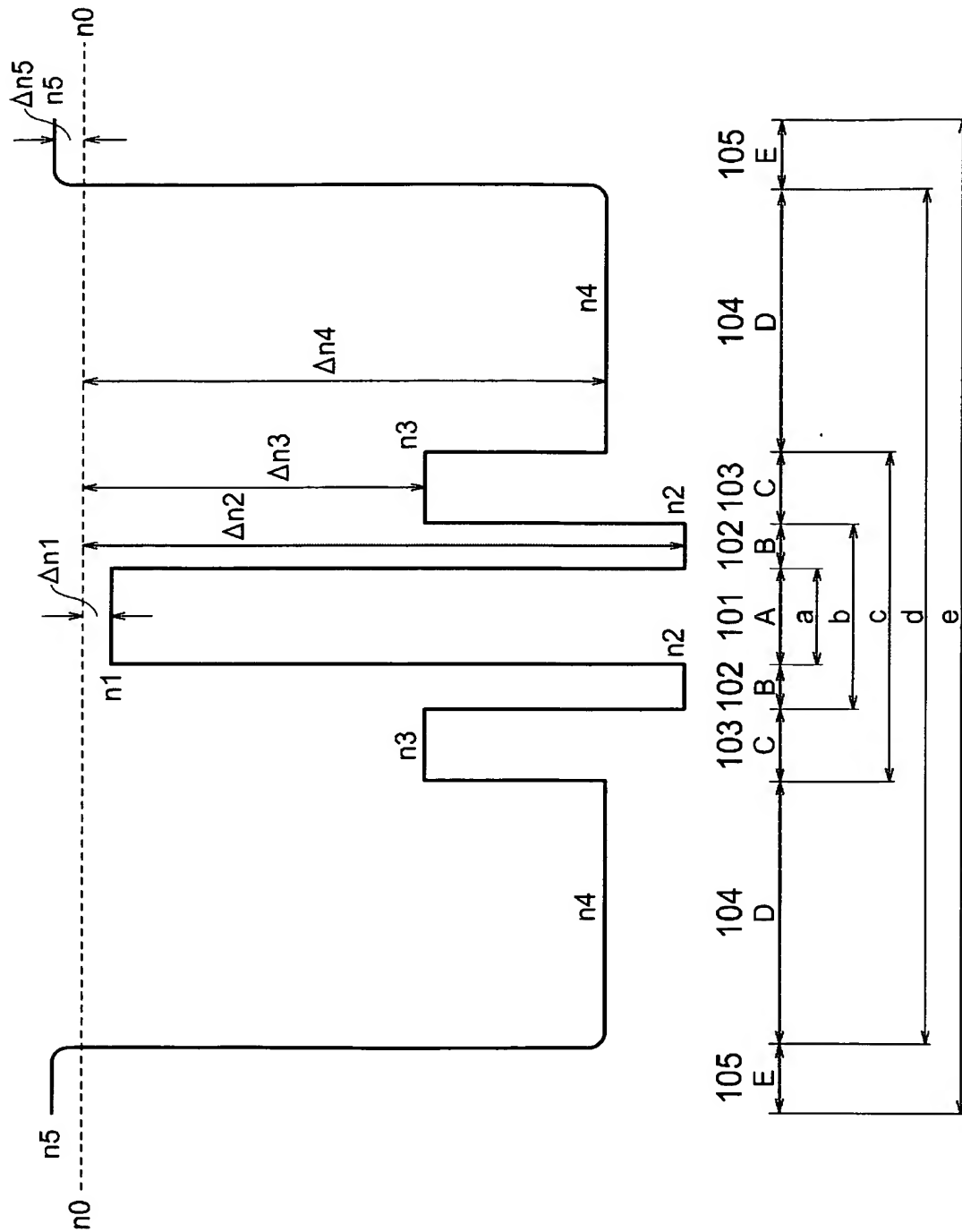
【書類名】

図面

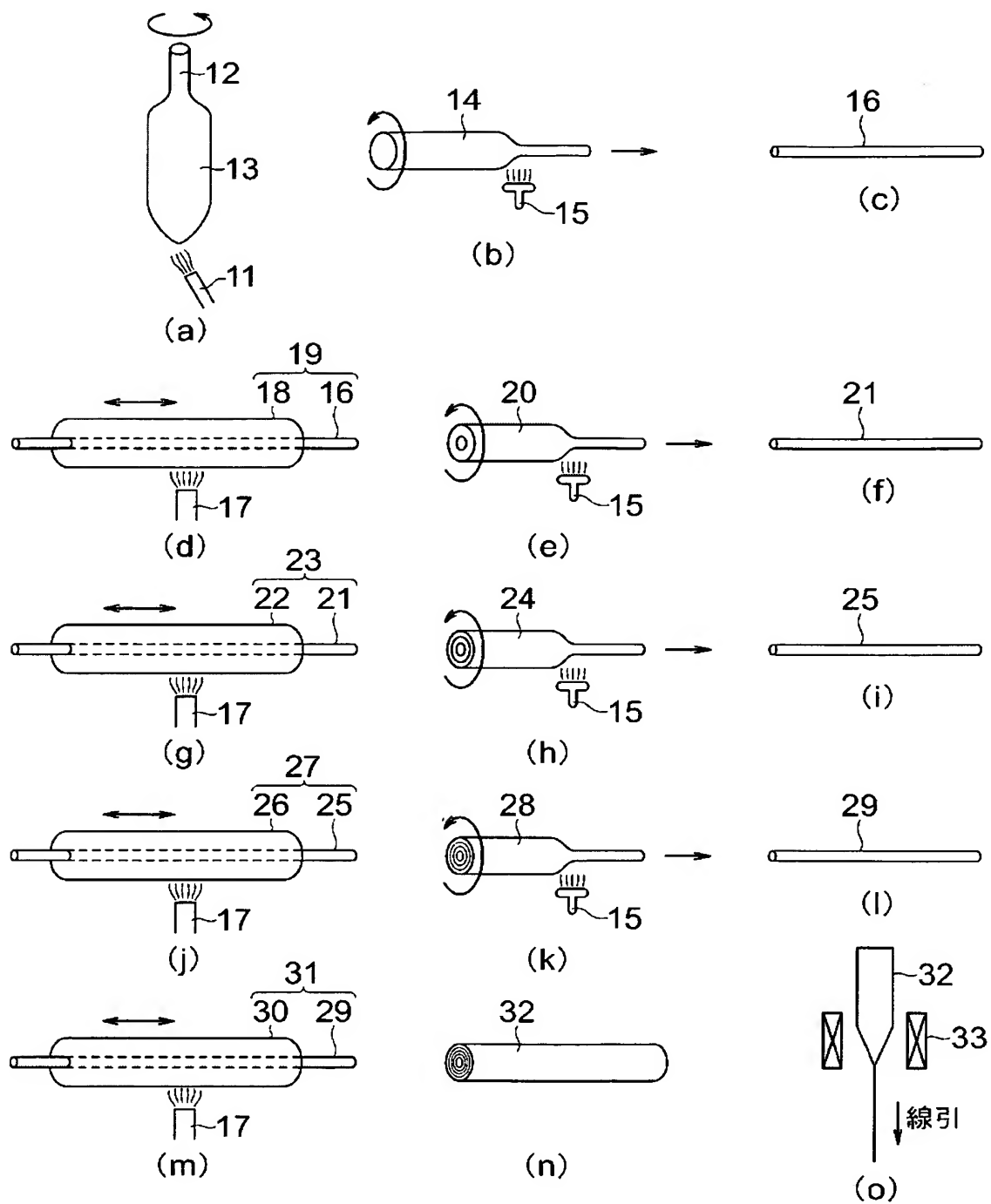
【図 1】



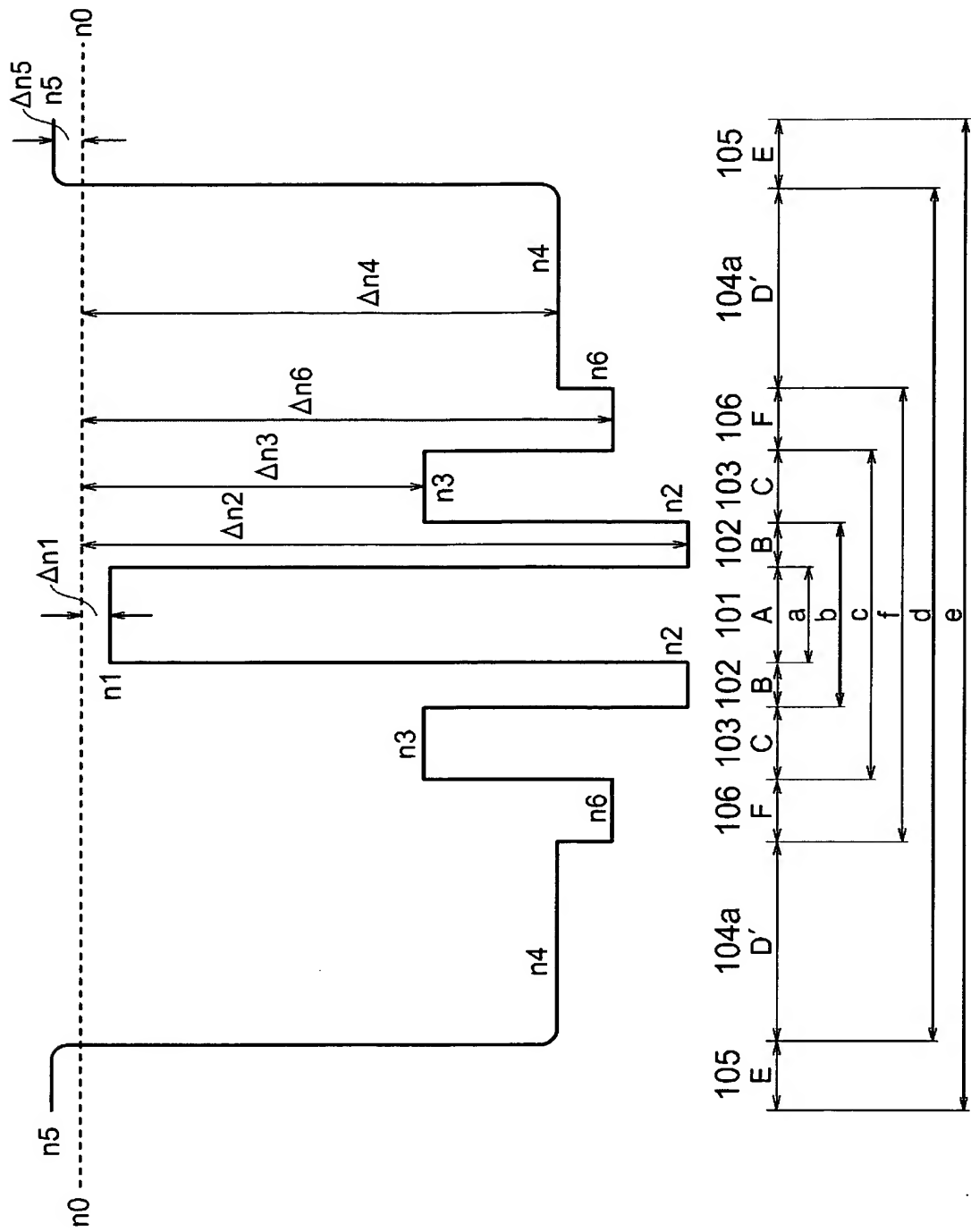
【図 2】



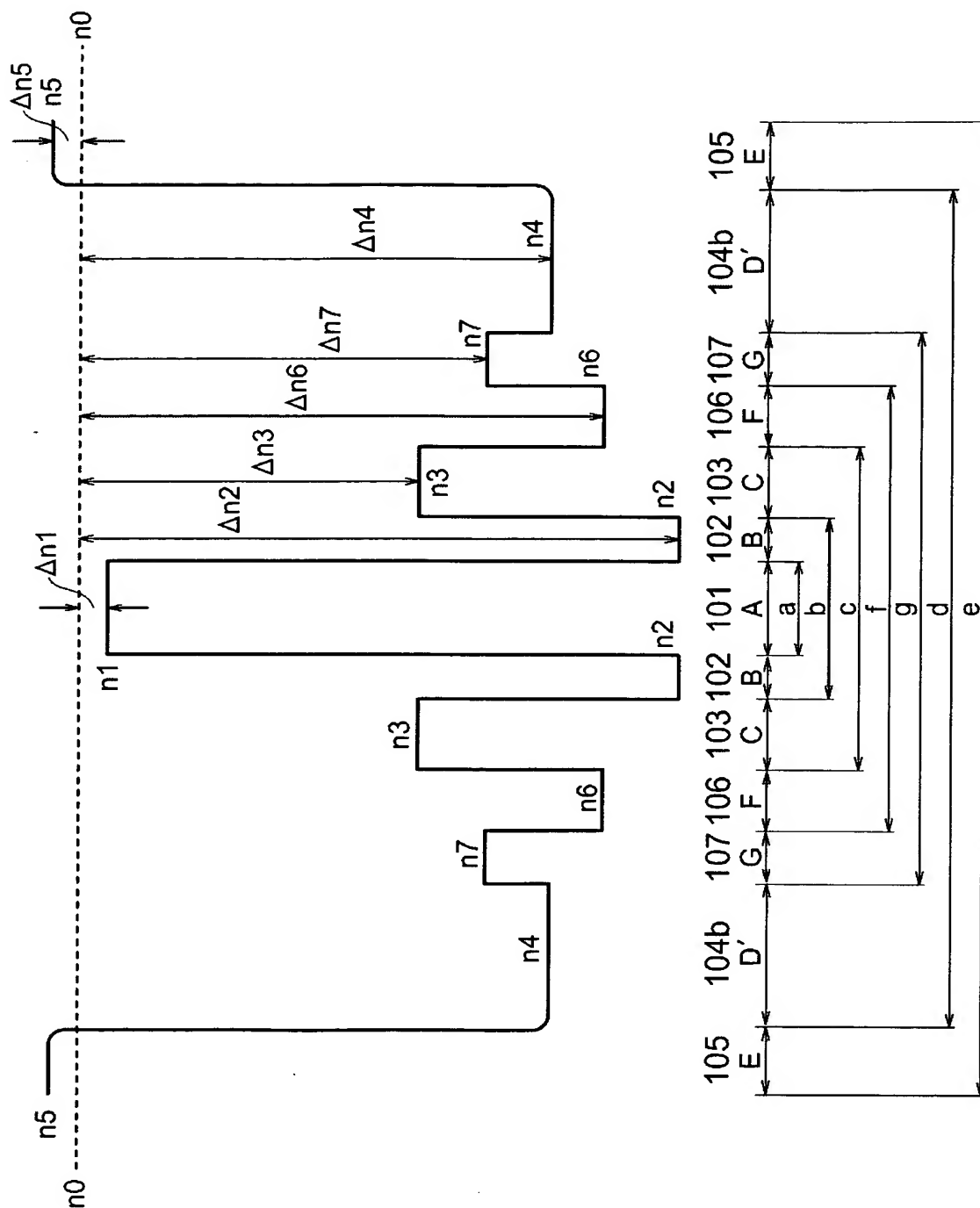
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 零分散波長が1300nm($1.3\mu\text{m}$) 近傍にあり、 $1.5\mu\text{m}$ の光信号の伝送においても低損失な光ファイバおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 光ファイバは、石英を主成分とするガラスから形成されており、その伝送特性が、波長1550nmにおける伝送損失が 0.185 dB/km 以下であり、波長1550nmにおける波長分散が $10\pm 1\text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ であり、波長1550nmにおける波長分散スロープが $0.006\text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ 以下であり、実効コア断面積が $105\mu\text{m}^2$ 以上であり、ケーブルカットオフ波長 λ_c が1530nm以下であり、偏向モード分散が $0.1\text{ ps/km}^{1/2}$ 以下であり、マンドレル外径20mmで曲げたときの曲げ損失が 10 dB/m 以下である。外径比率 c/a および比屈折率差は下記である。 $1.20\leq b/a\leq 2.00$ 、かつ、 $1.44\leq c/a\leq 4.00$ 、

$-0.1\%<\Delta n_1<0\%$ 、 $-0.5\%\leq\Delta n_2\leq-0.2\%$ 、 $-0.4\%\leq\Delta n_3\leq-0.1\%$ 。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 2 - 2 8 8 9 1 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 9 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

氏 名

古河電気工業株式会社